Reichweiten der *a*-Strahlen von Uran I, Uran II und Thor.

Inauguraldissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

ERICH LUDWIG

aus Stuttgart.

19 32

Dissertations-Verlag G. H. Nolte Düsseldorf

Dekan: Professor Dr. F. Machatschki.

Referent: Professor Dr. H. Geiger.

Tag der mündlichen Prüfung: 12. Mai 1932.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

INHALT.

§ 1. Vorbemerkung.
§ 2. Experimentelle Anordnung.
§ 3. Arbeitsweise des benutzten Zählrohrs.
§ 4. Prüfung des Zählrohrs.
§ 5. Definition der Bahnlänge der gezählten α-Strahlen.
§ 6. Herstellung der aktiven Schichten.
§ 7. Einstellung der Spannung am Zählrohr.
§ 8. Messung der Reichweiten von Uran nach dem ersten Verfahren.
§ 9. Messung der Reichweiten von Uran nach dem zweiten Verfahren.
§ 10. Messung der Reichweite von Thor.
§ 11. Resultate.
§ 12. Fehlerdiskussion.
§ 13. Zusammenfassung.

§ 1. Vorbemerkung.

Durch die Wellenmechanik ist es möglich geworden, die Geiger-Nuttall'sche Beziehung theoretisch zu deuten[1]). Diese verknüpft bekanntlich die Zerfallskonstante λ einer radioaktiven Substanz mit der Reichweite R der emittierten α-Strahlen und lautet $\log \lambda = A + B \log R$. Zur Prüfung der Theorie ist es daher von großer Wichtigkeit, die Reichweitenwerte möglichst genau zu kennen. Am unsichersten sind z. Z. noch die Werte von Uran I, Uran II und Thor, weil es sich hier um Elemente sehr geringer Aktivität handelt.

Bei den bisherigen Messungen der Reichweiten von U I, U II und Th wurden vier prinzipiell verschiedene Methoden angewandt: Die Bestimmung der Ionisationskurve, die unmittelbare Ausmessung der Reichweiten an pleochroitischen Höfen, die Wilson'sche Nebelmethode und die Szintillationsmethode. Über die nach diesen Methoden ausgeführten Arbeiten soll zunächst kurz berichtet werden unter Auslassung der älteren Messungen[2]), soweit sie nur grobe Abschätzungen der Reichweiten geben.

Bei Uran wurde erstmalig von Geiger und Nuttall[3]) exakt nachgewiesen, daß man es mit zwei diskreten Reichweiten zu tun hat[4]). Die von ihnen aufgenommene Ionisations-

---

[1]) s. G. Gamow ZS. f. Phys. **51**, 204, 1928 und
G. Gamow u. F. G. Houtermans, ZS. f. Phys. **52**, 496, 1928.

[2]) St. Meyer u. E. v. Schweidler, Wien. Ber. **115**, 713, 1906.
W. H. Bragg, Phil. Mag. **11**, 754, 1906.
H. N. Mc Coy u. W. H. Ross, Phys. Rev. **24**, 124, 1907.
L. Bloch, Le Radium **4**, 133, 1907.
T. H. Laby, Le Radium **4**, 253, 1907.
H. Geiger u. E. Rutherford, Phil. Mag. **20**, 691, 1910.
A. Foch, Le Radium **8**, 101, 1911.
F. Friedmann, Wien. Ber. **120**, 1361, 1911.

[3]) H. Geiger u. J. M. Nuttall, Phil. Mag. **23**, 439, 1912.

[4]) Zum erstenmal wahrscheinlich gemacht wurde die Existenz zweier Urankomponenten von B. B. Boltwood, Amer. Journ. of Science **25**, 269, 1908.

kurve zeigte einen wesentlich flacheren Abfall als die zum Vergleich mit aufgenommene Ionisationskurve von Polonium. Die Verfasser konnten diesen flachen Abfall durch Überlagerung zweier Reichweitegruppen von rund 2,5 und 2,9 cm [5]) zwanglos deuten.

Gudden [6]) hat die Reichweiten an pleochroitischen Höfen im Wölsendorfer Flußspat ausgemessen. Solche pleochroitische Höfe entstehen bekanntlich dadurch, daß in das Mineral winzige Kerne radioaktiver Substanzen eingelagert sind, deren α-Strahlung im Laufe der Zeit die Umgebung des Kerns verfärbt hat. Jede Reichweitegruppe erzeugt, da sie am Ende ihrer Reichweite besonders wirksam ist, im Kristall eine verfärbte Kugelfläche, deren Halbmesser gleich der Reichweite der radioaktiven Strahlungen in dem betreffenden Mineral ist. Die Ausmessung der beiden Uranringe ergab einen Radius von 14,0 und 14,4 μ. Durch Vergleich mit Ra C', dessen Ringdurchmesser ebenfalls gemessen wurde, ergab sich eine Reichweite von 2,68 und 2,76 ± 0,01 cm in Luft.

Eine weitere Messung der Uranreichweiten ist von Laurence [7]) mit der Wilsonkammer ausgeführt worden. Von insgesamt 1620 photographierten Bahnen waren 900 zur Ausmessung brauchbar. Die Zahl der Bahnen wurde als Funktion ihrer Länge aufgetragen und daraus die Reichweiten zu 2,58 und 3,11 cm ± 1% bestimmt. Die Verwendung der Wilson'schen Nebelmethode für Reichweitemessungen bringt insofern Schwierigkeiten mit sich, als gerade im Augenblick der Ausbildung der Nebelbahn der Druck in der Kammer schwer zu erfassen ist.

Vor Kurzem fand Bateson [8]) für die Reichweite von Uran II mit der Szintillationsmethode [9]) 3,12 ± 0,08 cm.

Die Ziegert'schen [10]) Messungen der Uranreichweiten sind sehr indirekt. Der Verfasser bestimmt mit dem Hoffmann'schen

---

[5]) Diese beiden Werte sind korrigiert auf einen neueren Wert für Ionium: $R_0 = 3{,}028$ cm und sind in der Arbeit von H. Geiger, ZS. f. Phys. 8, 45, 1922 mitgeteilt. — Alle in vorliegender Arbeit angegebenen Reichweitenwerte sind auf 0° C und 760 mm Hg bezogen.

[6]) B. Gudden, ZS. f. Phys. 26, 110, 1924.

[7]) G. C. Laurence, Phil. Mag. 5, 1027, 1928.

[8]) S. Bateson, Canad. Journ. Res. 5, 567, 1931, zitiert nach Phys. Ber. 13, 612, 1932.

[9]) Außerdem erwähnt E. Rutherford in Phil. Mag. 4, 588, 1927 eine orientierende Messung an Uran II mit der Szintillationsmethode. Er findet R_0(U II) = 3,06 cm.

[10]) H. Ziegert, ZS. f. Phys. 46, 668, 1928.

Elektrometer die Zahl der von einem Uran-α-Strahl erzeugten Ionenpaare k und berechnet daraus die Reichweite nach der Formel $k = k_0 R^{3/2}$, wo $k_0 = 6{,}25 \cdot 10^4$. Die gefundenen Werte stehen in guter Übereinstimmung mit den Werten von Geiger und Nuttall.

An Thor ergab eine Ionisationsmessung von Geiger und Nuttall[11]) den Wert 2,58 cm.

Henderson und Nickerson[12]) fanden nach einer Methode, die identisch ist mit der von Laurence[13]), einen Wert von 2,45 ± 0,05 cm.

Im Folgenden werden Versuche beschrieben, bei denen die Reichweiten mit Hilfe des sehr empfindlichen Zählrohrs bestimmt wurden.

§ 2. Experimentelle Anordnung.

Das Zählrohr besteht aus einem Messingzylinder M (s. Fig. 1) von 10 mm Wandstärke, 45 mm äußerem Durchmesser und 100 mm Länge. In diesen Zylinder sind zum Eintritt der Strahlen etwa 800 Löcher von 1,8 mm Durchmesser gebohrt, deren Achsen genau senkrecht auf die Achse des Zählrohrs zulaufen. Eine solche Bohrung ist bei L eingezeichnet. Die Innenfläche des Zylinders bedeckte bei der Mehrzahl der Versuche eine Al-Folie von 1,36 cm Luftäquivalent. Der Zylinder M ist auf eine Hartgummiplatte H aufgeschraubt, die ihrerseits an der Eisenplatte E befestigt ist. Koaxial zum Zählrohrzylinder ist ein zweiter Messingzylinder U von 1 mm Wandstärke, 100 mm Höhe und einem inneren Durchmesser von 128 mm angebracht. Er dient als Träger für die aktive Substanz und ist leitend mit dem Zählrohr verbunden. Letzterem wird durch einen hartgummiisolierten Draht Z_2 die Spannung zugeführt, während über Z_1 der Zähldraht D mit dem Elektrometer verbunden ist. Der Ansatz A führt zu einem Quecksilbermanometer und dient zugleich zur Variierung des Druckes unter der Glasglocke. Für schnellen Druckausgleich innerhalb der Glocke sorgen Löcher in der Hartgummischeibe Sch, die den Zähldraht oben festhält. Eine kleine Sondervorrichtung wurde angebracht, um jederzeit die Empfindlichkeit des Zählrohrs prüfen zu können: An dem Schliff S war ein schwaches Poloniumpräparat P befestigt, dessen Strahlen nach Drehen des Schliffs durch ein Loch in U in das Zählrohr geschickt werden konnten.

[11]) H. Geiger u. J. M. Nuttall, Phil. Mag. 22, 613, 1911.

[12]) G. H. Henderson und J. L. Nickerson, Phys. Rev. 36, 1344, 1930.

[13]) loc. cit.

Die vom Zylinder U ausgehenden α-Strahlen durchsetzen die Löcher in M sowie die Al-Folie und bringen das Zählrohr zum Ansprechen. Mit wachsendem Gasdruck unter der Glocke verkürzen sich die Bahnen der α-Strahlen immer mehr, sodaß sie schließlich nicht mehr in das Zählrohr gelangen. Eine Reich-

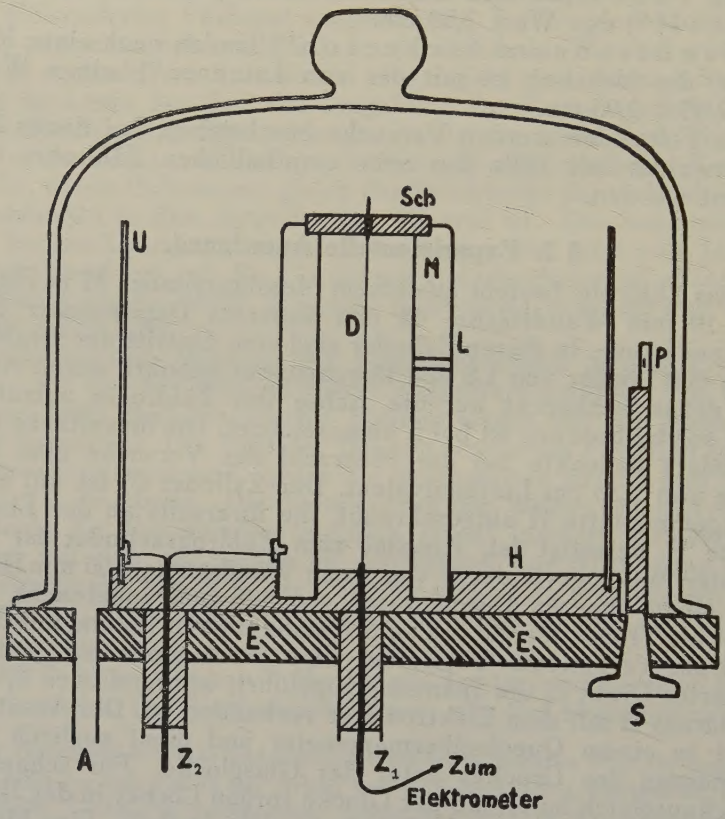

Fig. 1. Experimentelle Anordnung.

weitemessung mit der beschriebenen Apparatur ging nun in folgender Weise vor sich: Zuerst wurde der unter der Glasglocke herrschende Druck mit einem Kathetometer am Quecksilbermanometer gemessen, dann die Temperatur abgelesen und die Dicke der eingeschalteten Luftschicht auf 0° C und 760 mm Hg umgerechnet. Nun wurde die zu dem betreffenden Druck gehörige Zählspannung an einem Satz von Anodenbatterien eingestellt

(§ 7) und ihre Konstanz durch ein Lohfert'sches[14]) Elektrometer kontrolliert. Dann erfolgte die Abzählung der pro Minute in das Zählrohr eindringenden α-Strahlen. Wiederholt man dies für die verschiedenen Drucke, die man zweckmäßig mit Hilfe einer Gasfalle in gleichen Schritten wachsen läßt, so erhält man eine Kurve nach Art der Fig. 2. Bekanntlich fällt eine solche Reichweitekurve in ihrem letzten Teile geradlinig ab[15]). Der Schnitt-

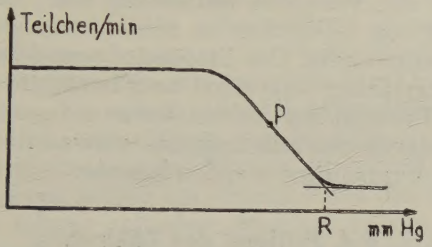

Fig. 2. Allgemeine Form einer Reichweitekurve.

punkt dieser Geraden mit der Horizontalen, die den Nulleffekt mißt, wird, weil scharf zu erfassen, als das Reichweitenende der α-Strahlen definiert.

§ 3. Arbeitsweise des benutzten Zählrohrs.

Das Zählrohr wurde im Multiplikationsbereich verwandt, sodaß es nur die α-Strahlen, nicht aber die β- und γ-Strahlen registrierte[16]) (vergleiche hierzu die Messungen von Geiger und Klemperer[17]) mit dem Proportionalitätszähler). Scharfes Trocknen mit P_2O_5, sowie vollkommener Temperatur- und Druck-

[14]) H. Lohfert, Diss. Tübingen, 1932 (erscheint demnächst). Das von Lohfert durchkonstruierte Instrument arbeitet im Prinzip wie ein Braun'sches Elektrometer; doch ist der Flügel bifilar aufgehängt und dreht sich beim Anlegen einer Spannung um eine vertikale Achse. Mittels geeigneter Vorrichtungen kann die größte Empfindlichkeit des Instruments in einem beliebigen Spannungsbereich zwischen 1000 und 5000 Volt verlegt werden. Ein Lichtzeiger macht auf einer Skala in etwa 1 m Entfernung die Drehung sichtbar; dabei ist eine Änderung von 1 Volt noch feststellbar, wenn die Spannung, wie hier, etwa 2000 Volt beträgt.

[15]) s. H. Geiger, Proc. Roy. Soc. London **83**, 505, 1910 und G. H. Henderson, Phil. Mag. **42**, 538, 1921.

[16]) s. E. Rutherford u. H. Geiger, Proc. Roy. Soc. London **81**, 141, 1908 und Phys. ZS. **10**, 1, 1909.

[17]) H. Geiger u. O. Klemperer, ZS. f. Phys. **49**, 753, 1928.

ausgleich nach jeder Druckveränderung waren für einwandfreies Arbeiten des Zählrohrs unerläßlich. Gealterte, emanationsfreie Luft wurde einer großen Vorratsflasche entnommen. Die im Zählrohr beim Durchgang eines α-Teilchens ausgelöste Elektrizitätsmenge beträgt größenordnungsmäßig 10^{-12} Coul., ist also etwa ebenso groß wie beim Multiplikationszähler und kann mit einem empfindlichen Fadenelektrometer nachgewiesen werden. Da es im Lauf der Versuche notwendig war, eine außerordentlich große Zahl von α-Teilchen zu zählen, war eine automatische Registrierung notwendig. Der Stromstoß wurde einem 3-Röhren-Widerstandsverstärker zugeführt und betätigte über ein Relais ein Zählwerk. Parallel zur Verstärkeranordnung lag das Fadenelektrometer, durch das jederzeit das einwandfreie Arbeiten der Zählapparatur kontrolliert werden konnte.

§ 4. Prüfung des Zählrohrs.

Ein besonders wichtiger Punkt bei den vorliegenden Messungen war die genaue Einstellung der Zählspannung. Zunächst wurde festgestellt, ob für jeden Druck ein Spannungsbereich vor-

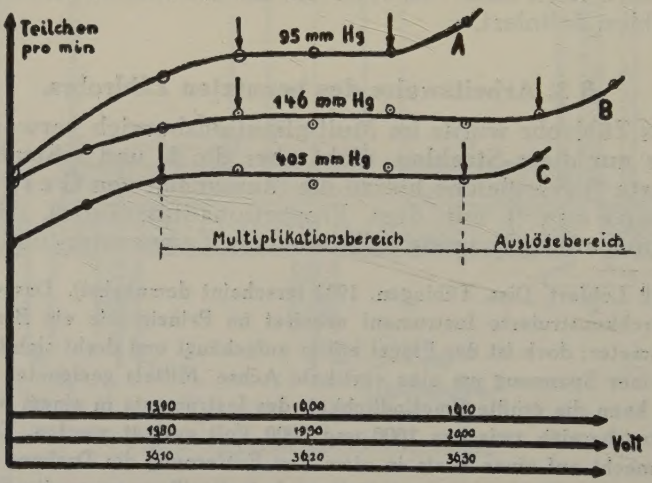

Fig. 3. Multiplikationsbereich des Zählrohrs bei verschiedenen Drucken.

handen ist, innerhalb dessen die Zahl der α-Teilchen konstant bleibt. Fig. 3 zeigt zwei Kurven (A und C) bei dem höchsten bezw. geringsten Druck, bei dem das Zählrohr überhaupt verwendet wurde. In diesen Kurven ist die Teilchenzahl pro Minute in Abhängigkeit von der angelegten Spannung aufgetragen.

Als Strahlenquelle diente das an dem drehbaren Halter befestigte Poloniumpräparat P (s. Fig. 1). Für jeden einzelnen Punkt sind mindestens 1000 Teilchen gezählt. Die Kurve A zeigt, daß bei dem niedrigen Druck von 95 mm Hg ein zwar schmaler, aber deutlich feststellbarer konstanter Zählbereich von 10 Volt Breite (1595 V bis 1605 V) vorhanden ist, während schon bei 146 mm Hg (Kurve B) dieser Bereich sich auf etwa 20 Volt (1985 V bis 2005 V) erweitert hat. Es sei bemerkt, daß nach den Erfahrungen im hiesigen Institut bei Verwendung eines Elektrometers statt einer Verstärkeranordnung die Multiplikationsbereiche etwas größer erscheinen und mit ansteigendem Druck merklich an Größe zunehmen. Es schien aber richtig, diese Versuche mit derselben Verstärkeranordnung durchzuführen, die dann auch bei den Reichweitemessungen Verwendung fand.

Alle drei Kurven zeigen am oberen Ende des Multiplikationsbereichs einen relativ scharfen Anstieg, dessen Einsatz in der Figur gerade noch zu sehen ist. Dieser Anstieg ist darauf zurückzuführen, daß jetzt auch β- und γ-Strahlen mitregistriert werden. Im Multiplikationsbereich jedoch zeigt auch ein Radiothorpräparat von 2 mg Ra-Äquivalent in ca. 30 cm Abstand vom Zählrohr trotz der starken γ-Strahlung keinerlei Wirkung.

Da der für die vorliegende Messung brauchbare Spannungsbereich, wie man sieht, relativ klein ist, muß auf genaue Bestimmung der zu jedem Druck notwendigen Zählspannung großer Wert gelegt werden. Bei einer Reihe von Messungen wurde, wie in § 7 gezeigt wird, ein besonderes Verfahren zur Einstellung der Zählspannung angewandt, das frei von jeder Willkür war.

§ 5. Definition der Bahnlänge der ins Zählrohr gelangenden α-Teilchen.

In diesem Paragraphen soll diskutiert werden, inwieweit die Reichweitemessungen dadurch beeinflußt werden, daß die α-Strahlen nicht alle parallel zur Achse OO' des Blendenloches verlaufen (s. Fig. 4), sondern zum Teil einen Winkel mit dieser Richtung bilden und deshalb einen etwas längeren Weg bis zum Zählrohr zu durchlaufen haben.

In Fig. 4 bedeutet D den Zähldraht, M den Zählrohrzylinder, in den ein Blendenloch eingezeichnet ist, und U das Metallblech, das die aktive Substanz trägt. Es sei zunächst angenommen, daß diese Metallfläche eben sei. Dann ist die Fläche, von der α-Strahlen durch die eingezeichnete Öffnung in das Zählrohr eintreten können, eine Kreisfläche mit dem Durchmesser AB. Sie sei in 10 konzentrische Kreisringe (Zonen) gleicher Breite

eingeteilt. Für alle von einer und derselben Zone kommenden α-Strahlen ist die freie Eintrittsöffnung in das Zählrohr gleich groß. Es wurde nun mit Hilfe eines graphischen Verfahrens ermittelt, wieviel α-Strahlen von jeder Zone bei gleichmäßigem Belag der Fläche in das Zählrohr eintreten. In Tabelle 1 ist in Zeile 1 die Nummer der Zone angegeben, wobei Nr. 1 die zentrale Fläche bedeutet. In Zeile 2 findet man den prozentualen Beitrag

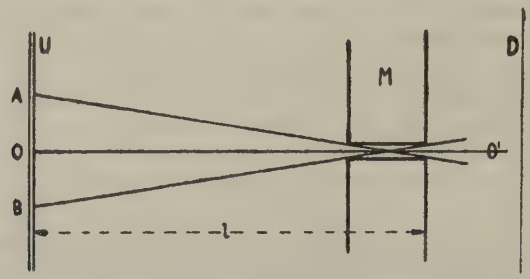

Fig. 4. Verlauf der ins Zählrohr gelangenden α-Strahlen.

jeder einzelnen Zone zu der Gesamtstrahlung. In Zeile 3 ist schließlich eingetragen, um wieviel Prozent die Bahnlängen der aus den einzelnen Zonen kommenden α-Strahlen größer sind als die Bahnlänge l des Zentralstrahls.

Man sieht aus dieser Tabelle, daß weniger als 1 % aller α-Strahlen Bahnen durchlaufen, deren Länge sich um mehr als 1,28 % = 0,66 mm von der des Zentralstrahls unterscheidet. Die Abweichung von der „Parallelität" war also sehr gering und konnte keine erheblichen Meßfehler bedingen (s. hierzu auch § 12).

Tabelle 1. Bahnverlängerung infolge schiefen Einfalls für die verschiedenen Zonen.

Nummer der Zone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beitrag zur Ges. Strahlg.	5,8	15,5	18,4	19,5	17,5	11,5	7,8	3,4	0,6	0,0%
Bahnverl.	0,00	0,03	0,12	0,26	0,43	0,64	0,97	1,28	1,52	1,89%

Würde man berücksichtigen, daß die aktive Substanz in Wirklichkeit nicht auf einer ebenen Fläche, sondern auf einem Zylinder niedergeschlagen war, so würden sich die oben angegebenen Zahlen nur günstiger gestalten.

§ 6. Herstellung der radioaktiven Schichten.

a) Uran. Käufliches, chemisch reines Uranylnitrat [18]) ($UO_2(NO_3)_2 + 6H_2O$) enthält außer den Isotopen Uran I und Uran II praktisch keine anderen α-strahlenden radioaktiven Elemente. Eine sehr verdünnte Lösung wurde allmählich auf die Innenseite des erwärmten Messingzylinders U (Fig. 1) gebracht, sodaß nach Verdampfen des Wassers eine gleichmäßige Uranschicht zurückblieb. Unter dem Mikroskop zeigte sich, daß die Schicht aus kleinen Kristallen von 3 bis 5 μ Durchmesser bestand. Die aus der aufgetragenen Uranmenge berechnete Schichtdicke betrug 2,6 μ oder 1 mm Luftäquivalent. Selbstverständlich lag in der Bestimmung der Dicke eine gewisse Unsicherheit. Deshalb wurde die durch die endliche Schichtdicke bedingte Korrektion für die Reichweiten auch experimentell bestimmt. Zu diesem Zweck wurde einer Nitratlösung eine minimale Menge Polonium zugesetzt, sodaß der damit hergestellte Film außer den Uran-α-Strahlen auch noch Polonium-α-Strahlen emittierte, deren Reichweite bekanntlich mit großer Genauigkeit feststeht und unter Normalbedingungen 3,67 cm beträgt [19]). Indem man neben der Reichweite des Urans auch die des Poloniums mit derselben Apparatur ausmißt, kann man auf die Dicke der Uranschicht zurückschließen [20]).

b) Thor. Die Herstellung der Thorschicht aus Thornitrat [21]) ($Th(NO_3)_4 + 4H_2O$) war analog. Das käufliche Thornitrat enthält aber außer dem Thor auch die α-Strahler RdTh, ThX, Tn, ThA, ThC und ThC'; allerdings im allgemeinen nicht im Gleichgewicht mit Thor, da bei der Herstellung des Thornitrats außer dem ThX auch das Mesothor abgetrennt wird. Radiothor ist bekanntlich ein Isotop des Thors; Thor X dagegen und seine Folgeprodukte kann man durch wiederholte Fällung des Thors aus der Thornitratlösung entfernen, bezw. zum Abklingen bringen. Solche Fällungen wurden über drei Tage mehrfach ausgeführt, sodaß in der Zwischenzeit das Thor B, das chemisch mit dem Thor geht, abgeklungen war.

§ 7. Einstellung der Spannung am Zählrohr.

Wie in § 4 erwähnt wurde, muß auf die genaue Bestimmung der Zählspannung besonderer Wert gelegt werden. Es war aber praktisch undurchführbar, zu diesem Zweck solche Kurven, wie

[18]) Präparat von Merck, Darmstadt.

[19]) s. Ber. d. Intern. Ra-Standard-Kommission, Phys. ZS. 32, 569, 1931.

[20]) s. H. Geiger u. J. M. Nuttall, Phil. Mag. 23, 439, 1912.

[21]) Präparat 3750 von Schering-Kahlbaum A.-G., Berlin.

sie in Fig. 3 dargestellt sind, für sämtliche Drucke, bei denen Messungen ausgeführt werden mußten, aufzunehmen. Es wurden deshalb zwei verschiedene Methoden zur Ermitllung bezw. Einstellung der Zählspannung für die einzelnen Drucke benutzt.

1. Man bestimmt für etwa fünf Drucke, die zugehörigen Zählspannungen durch Ermittlung des Multiplikationsbereichs (vgl. Fig. 3). Die Zählspannung wird dann in Abhängigkeit vom Druck aufgezeichnet, wie das in Fig. 5 geschehen ist. Dort bedeutet die Doppellinie die obere bezw. untere Grenze des Multiplikationsbereichs. An dem so gewonnenen Diagramm wird die bei jedem Druck einzustellende Zählspannung auf ± 5 Volt genau

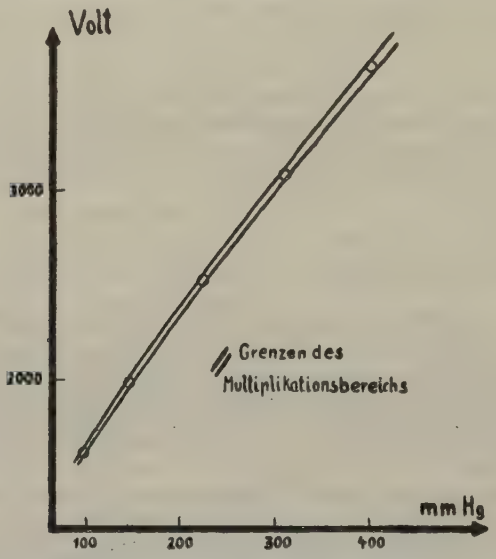

Fig. 5. Spannungs-Druck-Diagramm.

abgelesen. Die Konstanz der Spannung wurde während einer Versuchsreihe durch ein Lohfert'sches Elektrometer (s. Fußnote S. 9) dauernd kontrolliert. Schwankungen, die größer waren als ± 2 Volt, wurden nicht beobachtet.

2. Das zweite Verfahren macht sich die Tatsache zunutze, daß es im wesentlichen nur darauf ankommt, die Knickstelle der Reichweitekurve (R in Fig. 2) möglichst scharf zu erfassen. Die Durchmessung einer solchen Knickstelle erfordert nur eine relativ geringe Variation des Druckes. In diesem kleinen Bereich geht die Zählspannung linear mit dem Druck im Zählrohr. Man kann also ausgehend etwa von der zum Punkt P (s. Fig. 2) ge-

hörenden Grundspannung, die Spannungen für die höheren Drucke sich in der Weise herstellen, daß man zu dieser Grundspannung diejenige Spannung addiert, welche sich aus der oben erwähnten Linearität des Spannungs-Druck-Diagramms errechnet. Diese Zusatzspannung, die 400 Volt nicht übersteigt, wurde an einer Potentiometerschaltung eingestellt und am Präzisionsvoltmeter abgelesen. Damit ist dem Verfahren jede Willkür genommen.

Graphisch aufgetragen unterscheiden sich die beiden Verfahren 1) und 2) in der Weise, daß im ersten Fall die Spannungswerte unregelmäßig zwischen die Doppellinien fallen (vgl. dazu Fig. 7, wo die Spannungswerte durch Kreuze aufgezeichnet sind), während im zweiten Fall die Spannungswerte genau auf einer Geraden liegen, die zwischen den Doppellinien verläuft.

§ 8. Messung der Reichweiten von Uran nach dem ersten Verfahren.

Um die Reichweitekurve von Uran + Polonium aufzunehmen (§ 2), mußte der Druck von 70 bis 400 mm Hg, die Spannung von 1200 bis 3400 Volt variiert werden. Im allgemeinen wurde so verfahren, daß die einzelnen Punkte nicht in systematischer, sondern in unregelmäßiger Aufeinanderfolge gemessen wurden. Der Kurvenverlauf selbst ist in Fig. 6 wiedergegeben. Bei Kurve A ist im Gegensatz zu Kurve B die an der Innenseite des Zählrohrzylinders angebrachte Al-Folie (§ 2) entfernt, sodaß jetzt ein höherer Druck zur Absorption der α-Strahlen notwendig war (z. B. statt 160 jetzt 380 mm Hg). Damit die zur Verfügung stehende Spannung ausreichte, wurde statt des für Kurve B verwandten Zähldrahtes von 0,2 mm Durchmesser ein solcher von 0,05 mm Durchmesser eingezogen. Daher war auch die für einen bestimmten Druck benötigte Zählspannung eine andere als vorher. Trotz der gänzlich veränderten Versuchsbedingungen stimmen die aus den beiden Kurven entnommenen Resultate innerhalb der Fehlergrenzen überein (vergl. § 11). Für jede Kurve wurden etwa 50 Punkte gemessen.

Da es bei dem Maßstab der Fig. 6 nicht möglich ist, Einzelheiten einzuzeichnen, ist in Fig. 7 der zwischen den beiden Pfeilen liegende Teil der Kurve A (Fig. 6), auf dessen Messung besondere Sorgfalt verwendet wurde, in vergrößertem Maßstab dargestellt. In Fig. 7 ist jeder Punkt mit ca. 1000 Teilchen belegt. Die durch die Meßpunkte gehenden vertikalen Striche bedeuten die mittleren statistischen Fehler. Die gestrichelten Li-

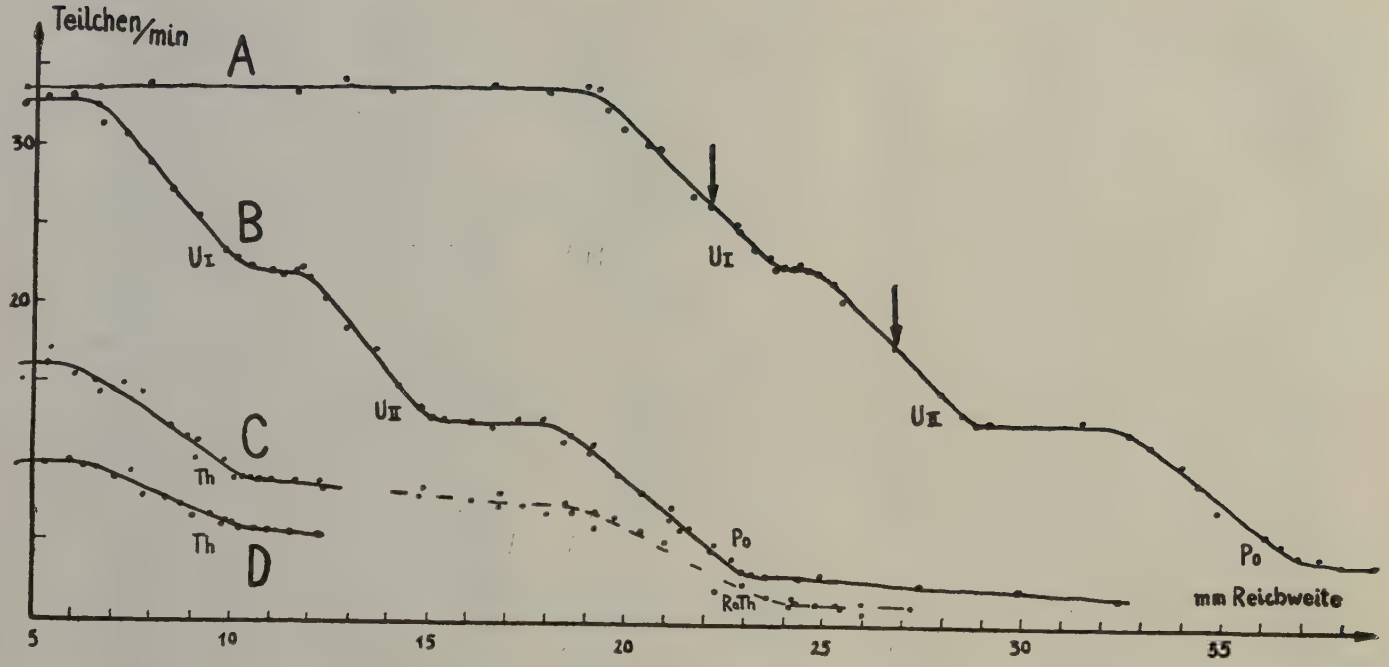

Fig. 6. Reichweitekurven von Uran + Polonium und Thor (+ Radiothor).
Kurve A: Reichweiten von U I, U II und Po ohne die in § 2 erwähnte Al- Folie.
Kurve B, C, D: Reichweiten von U I, U II, Po und Th bei Einschaltung der Al-Folie.

nien sind die Grenzen des Multiplikationsbereichs, die Kreuze die Spannungswerte, bei denen gemessen wurde. Aus der Lage dieser Punkte ersieht man, daß die Knickstellen in der Kurve

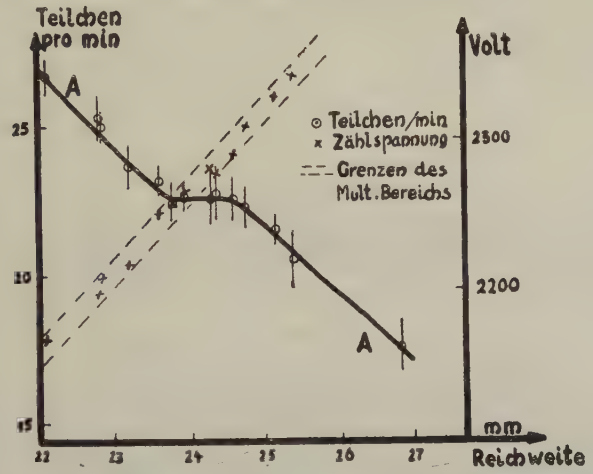

Fig. 7. Stück einer Uranreichweitekurve mit Spannungsdiagramm.

nicht etwa durch Fehler in der Einstellung der Zählspannung entstanden sein können, denn die Schwankungen in der Zählspannung entsprechen nicht den Schwankungen der Kurvenpunkte.

§ 9. Messung der Reichweiten von Uran nach dem zweiten Verfahren.

Bei der Ausmessung der Knickstellen nach dem zweiten Einstellverfahren (vergl. § 7) wurden die einzelnen Punkte in systematischer Reihenfolge bei kleinen Drucken beginnend gemessen. In Fig. 8 sind die erhaltenen Kurven dargestellt; die oberste Abszissenachse gilt für Polonium, die zweite für Uran II und die dritte für Uran I und Thor. Als Beispiel seien in Tabelle 2 die für das Kurvenstück E_1 der Fig. 8 gemessenen Zahlen mitgeteilt. Spalte 1 enthält den am Manometer abgelesenen Druck auf 0° C reduziert; Spalte 2 gibt die hieraus berechnete Dicke der Luftschicht in cm Luft von 0° C und 760 mm Hg, Spalte 3 die pro Minute gezählten Teilchen (der natürliche Effekt, der 2 Teilchen pro Minute beträgt, ist nicht abgezogen); Spalte 4 enthält die Gesamtzahl der für den einzelnen Punkt gezählten α-Teilchen.

Die Korrektion für die Dicke der Urannitratschicht wurde

experimentell (vergl. § 6 a) zu 0,035 cm bestimmt. Die theoretische Berechnung nach Laurence[22]) ergibt in befriedigender Über-

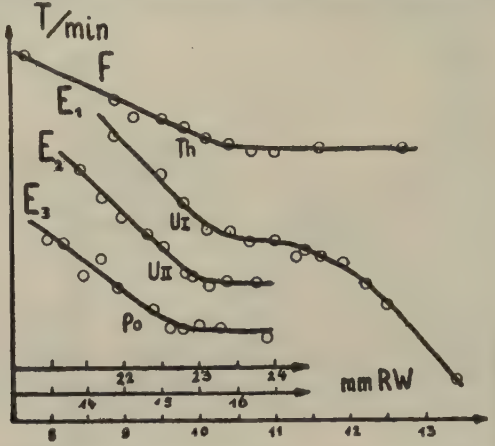

Fig. 8. Knickstellen von Uran I, Uran II, Polonium und Thor.

einstimmung 0,04 cm. Das Endergebnis dieser Messung findet sich in § 11.

Tabelle 2. Zahlenbeispiel für die Reichweitenbestimmung von Uran I nach Methode 2.

1	2	3	4
mm Hg reduziert auf 0° C	cm Dicke der absorbierenden Luftschicht bei 0° C und 760 mm Hg	pro Min. gezählte Teilchen	Gesamtzahl der gez. Teilchen
131,1	0,887	24,3	1094
140,6	0,950	23,0	1727
145,2	0,982	22,3	1339
149,9	1,012	21,3	1595
154,5	1,043	21,1	1262
158,0	1,068	20,8	1373
162,7	1,099	20,8	1290
166,9	1,128	20,3	1277
168,3	1,139	20,5	1640
171,6	1,160	20,3	1277
176,0	1,190	20,1	1206
180,8	1,221	19,4	1164
184,9	1,249	18,7	1234
198,2	1,340	16,2	970

[22]) G. C. Laurence, Phil. Mag. 5, 1027, 1928.

§ 10. Messung der Reichweite von Thor.

Die Messungen an Thor gingen in ganz derselben Weise vor sich wie bei Uran. Die entsprechenden Kurven sind in die beiden Figuren 6 und 8 eingezeichnet (Fig. 6, Kurve C u. D, Fig. 8, Kurve F). Die Messungen bei Thor sind dadurch sehr erschwert, daß in einem nach § 6 hergestellten Thorfilm sich in relativ kurzer Zeit aus dem Radiothor das Thor X und seine Folgeprodukte nachbilden. Schon nach 3,6 Tagen hat sich die Hälfte des im Gleichgewicht vorhandenen Thor X wieder nachgebildet. Die α-Strahlen von Th X, Tn, Th A, Th C und Th C' werden dann ebenfalls mitgezählt. Dies bewirkt zwar keine Verschiebung des Knickpunktes von Thor, aber eine Verschiebung der ganzen Kurve nach höheren Teilchenzahlen, wodurch die Genauigkeit der Reichweitebestimmung beeinträchtigt wird.

Die Korrektion für die Schichtdicke läßt sich bei Thor experimentell nicht mit genügender Genauigkeit aus der Radiothorreichweite entnehmen, da diese durch die Anwesenheit von Thor X verwaschen wird. Deshalb wurde sie nach dem Verfahren, dessen Berechtigung sich ja bereits bei den Uranmessungen erwiesen hat, berechnet und so zu 0,06 cm bestimmt.

§ 11. Resultate.

In Tabelle 3 stehen in Spalte 1 die direkt aus den Reichweitekurven Fig. 6 und 8 abgelesenen Werte; in Spalte 2 ist das Luftäquivalent der Al-Folie addiert; in Spalte 3 ist durch die in § 9 und § 10 angegebene Korrektion der endlichen Schichtdicke der Präparate Rechnung getragen; in Spalte 4 sind die Werte von Uran I und Uran II noch auf den von der I. R. S. K.[23]) angegebenen Wert für Polonium (3,67 cm) normiert; Spalte 5 gibt die Mittelwerte.

Eine orientierende Messung für Radiothor ist noch angefügt. Aus den in § 10 dargelegten Gründen darf man ihr jedoch keine große Genauigkeit beilegen, wenn sie auch in befriedigender Übereinstimmung mit dem international festgelegten Wert 3,81 cm ist.

---

[23]) s. Ber. d. Intern. Ra-Standard-Kommission, Phys. ZS. 32, 569, 1931.

Nach Spalte 5 sind also die Reichweitenwerte von

Uran I 2,42 cm
Uran II 2,92 cm
Thor 2,46 cm

und zwar bezogen auf 0° C und 760 mm Hg.

Tabelle 3. Resultate der Reichweitemessungen an Uran I, Uran II und Thor.

Substanz	Bezeichn.	1 Aus der R.W.Kurve abgelesen	2 L.Ä. der Folie addiert	3 Korr. für die Schichtdicke	4 Normiert auf die Vergl. R.W.	5 Mittel
U I	A	2,38	2,38	2,415	2,405	2,42 cm
	B	1,02	2,385	2,42	2,415	
	E	1,03	2,395	2,43	2,425	
U II	A	2,88	2,88	2,915	2,905	2,92 cm
	B	1,51	2,875	2,91	2,905	
	E	1,54	2,905	2,94	2,935	
Po	A	3,68	3,68	3,68		
	B	2,31	3,675	3,675		
	E	2,275	3,64	3,675		
Th	C	1,04	2,405	2,465		2,46 cm
	D	1,03	2,395	2,455		
	F	1,04	2,405	2,465		
RaTh	C	2,40*)	3,76	3,82		

*) unsicher (vgl. § 10).

Zum Vergleich seien die Resultate aller bisherigen Messungen mit Angabe der Meßmethode in Tabelle 4 zusammengestellt. Der neue Wert für Uran I ist kleiner als alle bisher gemessenen Werte, für Uran II fällt er zwischen die sehr weit streuenden

älteren Werte, dagegen stimmt der neue Wert für Thor innerhalb der Fehlergrenzen mit den Messungen nach der Wilsonmethode recht gut überein.

Tabelle 4. Zusammenstellung der bisher gemessenen Reichweitenwerte für Uran I, Uran II und Thor bezogen auf Luft von 0° C und 760 mm Hg.

Verfasser	Methode	Jahr	U I	U II	Diff. U II-U I	Th
Geiger u. Nuttall	Ionis. Kammer	1911/12	2,5	2,9	0,4	2,58
Gudden	Pleochr. Höfe	1924	2,68	2,76	0,08	—
Laurence	Wilson-Kammer	1927	2,58	3,11	0,53	—
Henderson u. Nickerson	Wilson-Kammer	1930	—	—	—	2,45
Bateson	Szintillationen	1931	—	3,12	—	—
Eigene Messungen	Zählrohr	1932	2,42	2,92	0,50	2,46

§ 12. Fehlerdiskussion.

Bei der Beurteilung der Genauigkeit des Resultats ist zu beachten, daß die gemessenen Reichweiten von Uran I und Uran II auf eine bekannte, mit derselben Apparatur gemessene Reichweite bezogen sind. Dadurch fallen alle Fehler heraus, die von der Messung der Luftstrecke l und dem schiefen Einfall der α-Strahlen ins Zählrohr (§ 5), der Temperatur- und Druckablesung oder etwaigem Wasserdampfgehalt der unter der Glocke befindlichen Luft herrühren könnten. Es ist daher nur noch zu diskutieren, ob die Messungen dadurch beeinflußt werden, daß die α-Strahlen bei verschiedenen Drucken verschieden weit ins Zählrohr eindringen müssen, um einen Ausschlag hervorzurufen. Preisler[24]) gibt für den Multiplikationszähler als maximale Ein-

[24]) P. Preisler, ZS. f. Phys. 53, 857, 1929.

dringtiefe $^1/_{10}$ mm an. Eine Überschlagsrechnung ergibt, daß in diesem Falle keinerlei Einfluß auf die Reichweitenwerte zu erwarten wäre. Tatsächlich sprechen dafür auch die übereinstimmenden Resultate (Tab. 3) der Kurven A und B der Fig. 6, wo dieselben Reichweiten bei verschiedenen Drucken (siehe § 8) gemessen wurden.

Bei den Messungen an Thor kann man sich auf die Tatsache stützen, daß die Apparatur durch die Messungen an Uran geeicht ist.

Im Ganzen wird der Fehler vorliegender Messungen für Uran I und Uran II auf höchstens ± 0,02 cm, für Thor auf höchstens ± 0,03 cm geschätzt.

§ 13. Zusammenfassung.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war eine möglichst genaue Bestimmung der Reichweiten der langlebigen Elemente Uran und Thor. Die aktive Substanz befand sich auf der Innenseite eines größeren Metallzylinders, in dessen Achse sich ein Zählrohr befand. Die α-Strahlen liefen radial in dieses Zählrohr und wurden bei verschiedenen Gasdrucken automatisch registriert. Durch geeignete Einstellung der Spannung wurde erreicht, daß die β- und γ-Strahlen unwirksam blieben.

Es ergaben sich für einen Druck von 760 mm Hg folgende Reichweitenwerte:

	bei 0°C	bei 15°C	
Uran I	2,42 cm	2,55 cm	± 0,02 cm
Uran II	2,92 cm	3,08 cm	± 0,02 cm
Thor	2,46 cm	2,60 cm	± 0,03 cm

Vorstehende Arbeit wurde im Physikalischen Institut der Universität Tübingen ausgeführt.

Herrn Prof. Dr. H. Geiger möchte ich auch an dieser Stelle herzlich danken für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für seine stets fördernde Anteilnahme am Verlauf derselben. Danken möchte ich ferner Herrn Dr. H. Fesefeldt für mannigfache wertvolle Ratschläge.

Tübingen, im April 1932.

LEBENSLAUF

Am 24. Juni 1908 wurde ich, Erich Ludwig, württembergischer Staatsangehöriger, als Sohn des Oberlehrers Wilh. Ludwig in Stuttgart geboren. Ich besuchte das Karls-Gymnasium zu Stuttgart, wo ich im Frühjahr 1926 die Reifeprüfung ablegte. Dann studierte ich an der Technischen Hochschule Stuttgart und an den Universitäten Göttingen und Tübingen Physik und Mathematik.